氣調技術應用在蔬菜採後保鮮之研究

王 自 存

國立台灣大學園藝學系副教授

摘 要

本試驗是以青花菜為模式作物，經由試驗建立其氣變包裝所需之基本條件，並依此結果進行初步之氣變包裝貯藏試驗，藉此過程吸取研發之經驗，進而評估其應用於本地之易敗壞性蔬果產品保鮮之可行性。青花菜之採後生理與老化受到溫度的影響很大。在20℃中之呼吸速率及乙烯生成速率甚高且會快速轉黃；將溫度降至5℃以下時即能顯著減緩此一變化。降低氧氣濃度及提高二氧化碳濃度亦對青花菜之老化生理有抑制效果，在20℃中降低氧氣濃度至1%以下即可發揮抑制呼吸作用、乙烯生成速率及抑制黃化的效果。提高二氧化碳濃度至6%以上，也有抑制呼吸作用及花蕾黃化的效果。依濃度增加測定法測定LDPE、HDPE、PP及OPP四種薄膜在1-20℃中對氧氣及對二氧化碳的透氣性，OPP的透氣性最小，PP次之，LDPE與HDPE相近但以後者略高一些。各種薄膜對二氧化碳的透氣性比對氧氣的透氣性約高3-4倍。且薄膜的透氣性隨溫度之增加而增加，但是並非直線關係。青花菜以LDPE袋在20℃中做氣變包裝貯藏試驗，並比較空氣密封包裝、充入1%O_2＋6%CO_2混合氣體密封包裝及充入氮氣密封包裝三種方式之效果。以空氣密封包裝者袋內大氣需6天才達到平衡且氧氣過低而二氧化碳過高，此時小花蕾已經變黃；以1%O_2＋6%CO_2混合氣體密封包裝者及以氮氣密封包裝者袋內大氣在三天之內達到平衡且濃度適宜，小花蕾保持在綠色達7天以上。由本試驗結果顯示青花菜在20℃中可用1%O_2＋6%CO_2之主動氣變方式做氣變包裝以延長其壽命，因此氣變包裝技術在易敗壞蔬菜採後保鮮上之應用應值得進一步研究。

關鍵字：青花菜、氣變包裝、透氣性、黃化、溫度

前 言

在新鮮蔬果的保鮮技術方面，利用改變大氣組成降低氧氣與提高二氧化碳濃度的氣調貯藏技術是一種非化學性的保鮮技術，沒有殘留物的問題，而此方法對於多數在採收後仍具有呼吸作用的新鮮園產品而言，通常都能產生延長其貯藏壽命之效果[4,5,9]。由於正規的氣調

貯藏是需要在溫度、濕度、氣體組成均能完全控制的特別庫房中進行，其設備精密且昂貴，在國外主要用於生產規模較大，需貯藏時間較長的一些產品，如蘋果、西洋梨、甘藍菜、奇異果等(9)，因此並不完全適於國內經濟規模較小的園藝生產者來使用。近年來，以氣調為原理所發展而成的氣變包裝技術(Modified atmosphere packaging，簡稱為MAP)在國外日益受到重視(10)。此一技術是利用對大氣具有一定透氣性的包裝膜做成包裝袋，在其中填充空氣或特定組成氣體，再由產品的呼吸作用與膜的透氣性讓袋內達到一定的平衡大氣組成，利用此一特別的大氣組成影響產品的生理，產生延長產品壽命的效果(8,10)。此一技術具有簡便且適於小規模使用的特性，可應用在產品的短期保鮮之用，在國內之高品質蔬果與輕度加工產品的運銷方面頗有發展性。

Day(6)認為在研發蔬果MAP條件時所應考慮以下的各項因子：第一、產品本身的生理特性，包括呼吸速率、產品在低氧與高二氧化碳下的生理表現，第二、產品的最適貯藏溫度，是否對低溫敏感？第三、包裝膜的透空氣性與透水氣性。第四、產品受微生物污染的程度，第五、包裝袋大小與內裝產品量間之關係(表面積與重量比)。基本上，大多數氣變包裝技術之應用都需考慮上述五項因子，由於氣變包裝技術在國內尚未曾做過有系統的研發，本研究是以青花菜為模式作物，經由試驗建立其氣變包裝所需之基本條件，並依此結果進行初步之氣變包裝貯藏試驗，藉此過程吸取研發之經驗，進而評估其應用於本地之易敗壞性蔬果產品保鮮之可行性。

材料與方法

一、試驗材料

本研究所使用之植物材料青花菜（*Brassica oleracea* L. Italica Group）皆栽培於嘉義縣新港鄉崙陽合作農場，使用品種為農友種苗公司生產的一代雜交種－'綠王'('Green King')品種。青花菜由產地採收後立刻裝箱，於6小時內運抵台大園藝系處理室。處理前先把所有的葉片去除，選取無傷病、外觀完整者作為參試材料(重量約200-400g)。所使用的包裝材料來源為台北市慶鴻膠業有限公司，種類有低密度聚乙烯(low-density polyethylene，簡稱LDPE)，高密度聚乙烯(high-density polyethylene，簡稱 HDPE)、聚丙烯(polypropylene，簡稱PP)及延伸聚丙烯(Oriented polypropylene，簡稱OPP)。供作為透氣性測定的樣品是將包裝袋剪下 20 × 20 cm 的正方形，使用厚度計(thickness gauge)量測厚度後，再進行透氣性測定。

二、青花菜採後生理及品質之調查

將樣品秤重後，分別放入呼吸缸中，在恆溫庫中利用流通式系統測定呼吸速率及乙烯生成速率，處理溫度包括 1、5、10、15 及 20℃。另利用氣體混合系統(1)，配製以下之固定濃度氣體 1, 3, 5, 10, 15% O_2(其餘為氮氣)、3, 6, 10, 15% CO_2 (其餘為空氣)，並以空氣為對照組，利用流通式系統，在5 及 20℃中連續處理青花菜。每天定時取樣測定呼吸速率及乙烯生成速率並觀察記錄老化程度，以小花蕾轉黃程度分為1-5分，1分為全綠，5分為全黃，觀察期間為10天，每處理三重複。

三、塑膠膜透氣性測定方法

本研究採用Taylor等人[13]文中所敘述之濃度增加測定法(Concentration- increase method)來進行。每一組測定裝置由兩個相同大小氣室組成，氣室上各有兩個通氣孔及一個抽氣孔，待測之塑膠膜以二片O形橡皮墊固定於兩氣室中間，以螺絲旋緊，形成不漏氣的兩氣室。測定前先以純氮氣(N_2~99.99%; O_2 0.01%)通入測氣室(A室)，以待測氣體（純氧或二氧化碳~99 %)通入另一氣室(B 室)，直到A室內氣體濃度達平衡為止。關閉A室的通氣孔，並用1ml的注射針筒抽取氣體樣品，用氧氣分析儀(Beckman Model 7003D Oxygen Monitor)或用二氧化碳分析儀(Rosemount Model 880A Infra-Red Gas Analyser)分別測定氧氣濃度及二氧化碳濃度。以關閉時的平衡濃度為零點，之後定時（每隔15~60分鐘）由抽氣孔抽氣，測定A室中氣體之濃度。將所得結果做一次迴歸分析，以每小時所增加的濃度代入公式，並計算滲透率。

四、青花菜氣變包裝貯藏試驗

本實驗所使用的包裝袋材料為 LDPE，厚度為 0.03 mm，長寬為 78 × 58.5 cm，包裝袋上裝設一組由 PE 做成之氣體取樣埠(gas sampling port)，取樣孔為 GC 用自密性矽膠塞，密封後包裝袋面積為 0.898 ± 0.003 ㎡。每袋內所裝入之青花菜重量會依試驗需要而不同，將樣品秤重後放入包裝袋以電熱封口機密封，分別做以下處理：(1)空氣密封包裝；(2)抽去袋內部份氣體再充入 1% O_2 ＋ 6% CO_2 的混合氣體；(3)抽去袋內部份氣體再充入氮氣。貯藏溫度為 20 ℃，並以未密封之空氣貯藏為對照組。貯藏前先以注射針筒抽取 1 ml 袋內氣體分析 O_2 、CO_2 及 C_2H_4 濃度，之後每隔 12 小時測定一次，如此貯藏 10 天。貯藏期間每天觀察包裝袋內樣品的形態變化及黃化情形。

結　　果

一、青花菜之採後生理與品質變化

㈠在不同溫度中之呼吸速率，乙烯生成速率與黃化變化

青花菜是一種非常容易老化的綠色蔬菜，在空氣中的生理代謝速率受到溫度的影響很大（圖1,2）。在 20℃ 中的呼吸速率很高，也有明顯的乙烯生成；呼吸速率與乙烯生成速率都會出現類似更年型高峰的變化，但出現之時機並非同步。呼吸速率在第二天時達到高峰然後下降，此時小花蕾已開始黃化；乙烯生成速率在前三天緩慢增加，在第四天達到高峰，此時呼吸速率已經降為高峰值之一半，而小花蕾則已完全黃化。呼吸速率與乙烯生成速率隨溫度之降低而下降，小花蕾之黃化速率亦明顯減緩。呼吸速率在15℃以下表現平穩而沒有高峰出現，溫度愈低呼吸速率愈低，由0℃至20℃，其呼吸速率的Q_{10}值約為3~4。在15℃中，乙烯生成速率會出現微小高峰，高峰出現時小花蕾亦已完全黃化。在10℃中幾乎看不出乙烯生成之高峰，但小花蕾在第9天時仍然完全黃化。在低於5℃的低溫中，青花菜之乙烯生成接近於零，此時之黃化速率亦極為緩慢，10天時僅有輕微黃化。

以黃化達到2.5級為失去商品價值之分界，青花菜在保持高濕的環境中，在20℃及15℃只有1~2天的貯運壽命，在10℃只有4天，在5℃約可延長至9~10天的貯藏壽命，如果在1℃中貯藏，經20天後其花蕾仍保持良好的綠色而沒有黃化的現象發生。

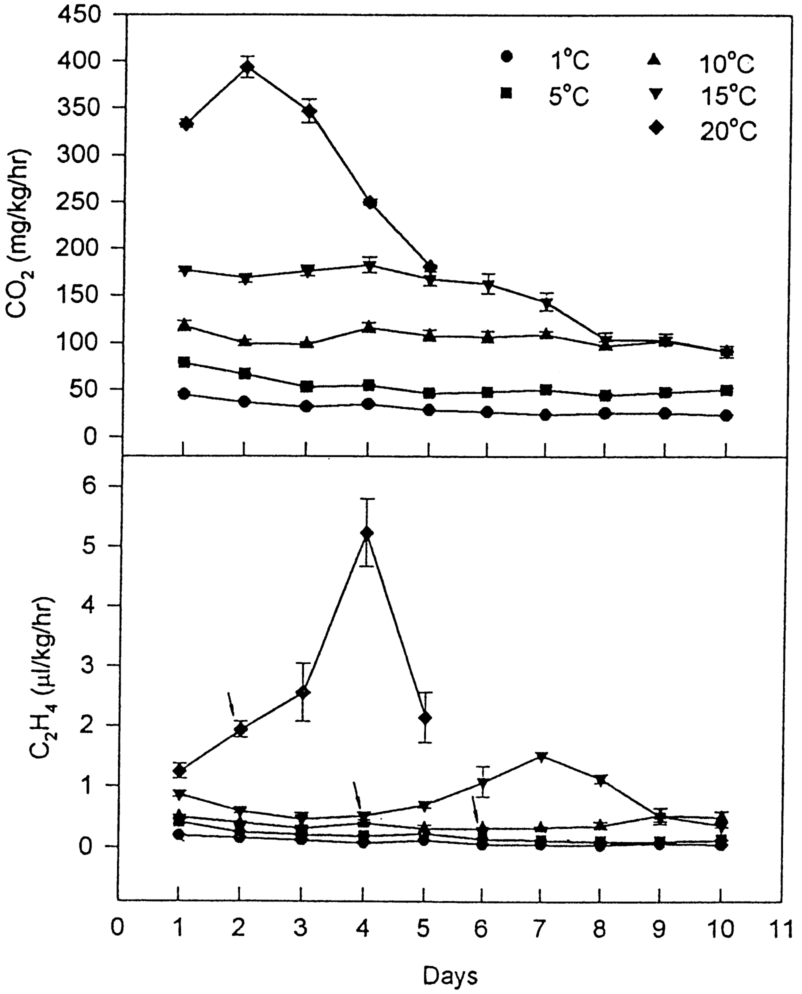

圖1. 青花菜在不同溫度中貯藏時之呼吸速率與乙烯生成速率之變化。箭頭所指處爲小花蕾開始黃化之時間，圖中各值爲三重複之平均±標準偏差。

Fig.1. Respiration and ethylene production rates of broccoli stored at different temperatures. Arrows indicate visible yellowing of florets. Each data represents mean ± S.E. of three replicates.

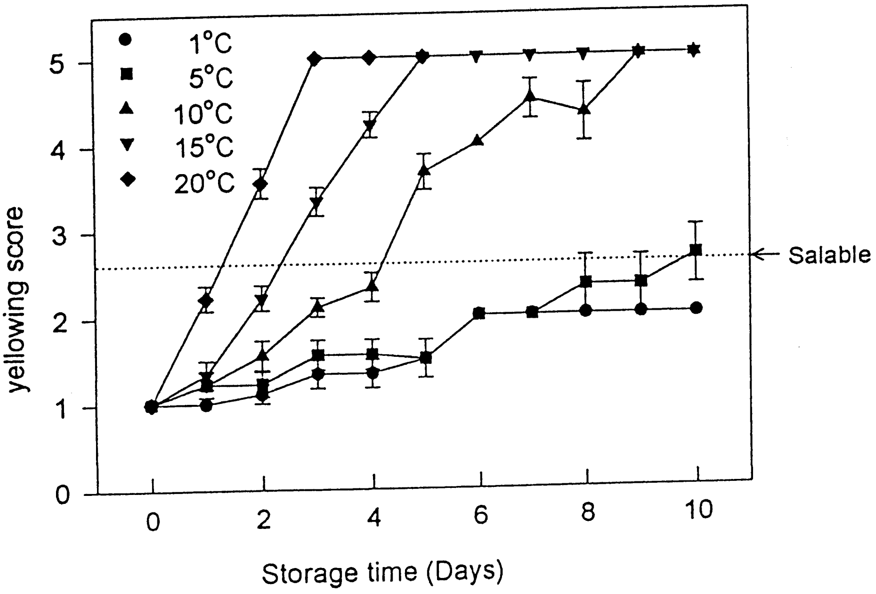

圖2. 青花菜在不同溫度中貯藏時之小花蕾黃化變化。黃化等級分為：1分深綠色，2分淡綠色，3分黃化輕微，4分黃化中等，5分黃化嚴重。圖中各值為三重複之平均±標準偏差。

Fig.2. Changes of yellowing scores of broccoli stored at different temperatures. Yellowing score: 1=green, 2=more green than yellow, 3=yellow green, 4= more yellow than green, 5=yellow. Each data represents mean ± S.E. of three replicates.

(二)在不同濃度氧氣與二氧化碳中之呼吸速率，乙烯生成速率與黃化變化

青花菜在20℃的空氣中貯藏老化非常快速，2天即開始轉黃，3天即完全變黃(圖2,5)。若將貯藏環境中的氧氣濃度降低或將二氧化碳的濃度提高，都能明顯降低青花菜之生理代謝及黃化變化。隨著氧氣濃度由20%降至1%，呼吸速率可降為原來的四分之一，原有的呼吸高峰在氧氣濃度降為3%以下時即不再出現(圖3)。在低氧中，乙烯之生成速率亦明顯受到抑制，在1% O_2 中之乙烯生成速率僅為空氣中之20%。在10%以上之氧氣中，仍有明顯之乙烯高峰出現，高峰出現時小花蕾均已完全轉黃；在低於10%之氧氣中，雖無明顯之乙烯高峰，但是在小花蕾開始轉黃後，都有逐漸上升的趨勢(圖3)。將貯藏環境中的二氧化碳濃度由接近於零提高到10%，亦具有降低青花菜呼吸速率及減緩黃化的效果(圖4)，在3% CO_2 中的青花菜其呼吸速率只有在空氣中貯藏者的45%，在10% CO_2 中貯藏者只有29%，抑制呼吸作用的效果甚為明顯。二氧化碳對青花菜乙烯生合成之影響，依濃度高低而有不同的結果，3% CO_2 明顯地促進其乙烯的生成，6%及10% CO_2 在貯藏前期對乙烯生成的影響較低，在貯藏後期會促進乙烯的生成，15% CO_2 則明顯抑制乙烯的生成(數據未列)。

低濃度的氧氣及高濃度之二氧化碳在延遲青花菜小花蕾的黃化方面都有明顯的效果(圖

5)，氧氣濃度以1%最佳可以有8天的貯藏壽命，二氧化碳濃度以 10% 及15%最佳，分別有5天及6天的貯藏壽命。但是貯藏在 10%及15% CO_2 之青花菜，在貯藏至第7~10天時，其主莖(stem)切口處有癒合組織(callus)形成，且內部組織有木質化的現象產生。

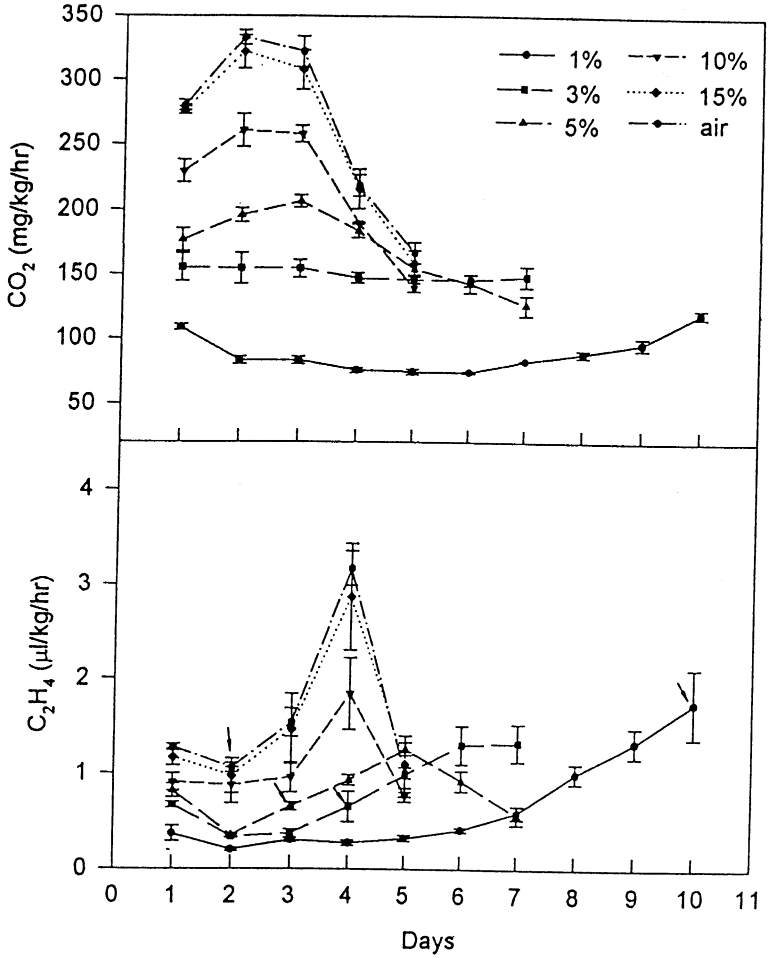

圖3. 青花菜在不同濃度氧氣中貯藏時之呼吸速率與乙烯生成速率之變化。貯藏溫度爲20℃，箭頭所指處爲小花蕾開始黃化之時間，圖中各値爲三重複之平均±標準偏差。

Fig. 3. Respiration and ethylene production rates of broccoli stored at 20℃ under different concentrations of oxygen. Arrows indicate visible yellowing of florets. Each data represents mean ± S.E. of three replicates.

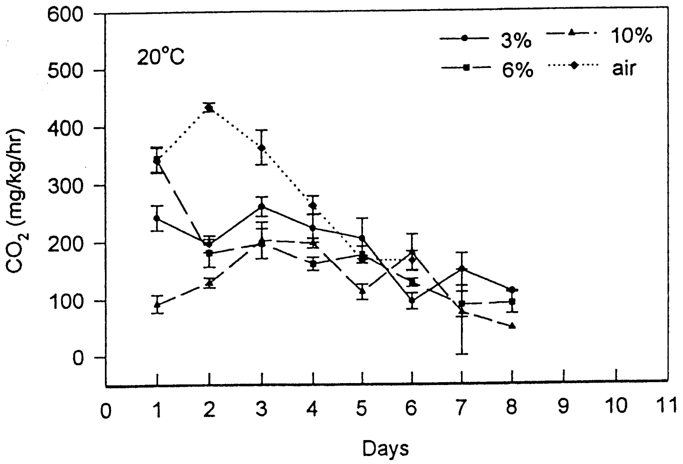

圖4. 青花菜在不同濃度二氧化碳中貯藏時之呼吸速率之變化。貯藏溫度爲20℃，箭頭所指處爲小花蕾開始黃化之時間，圖中各值爲三重複之平均±標準偏差。

Fig. 4. Respiration rates of broccoli stored at 20℃ under different concentrations of carbon dioxide. Arrows indicate visible yellowing of florets. Each data represents mean ±S.E. of three replicates.

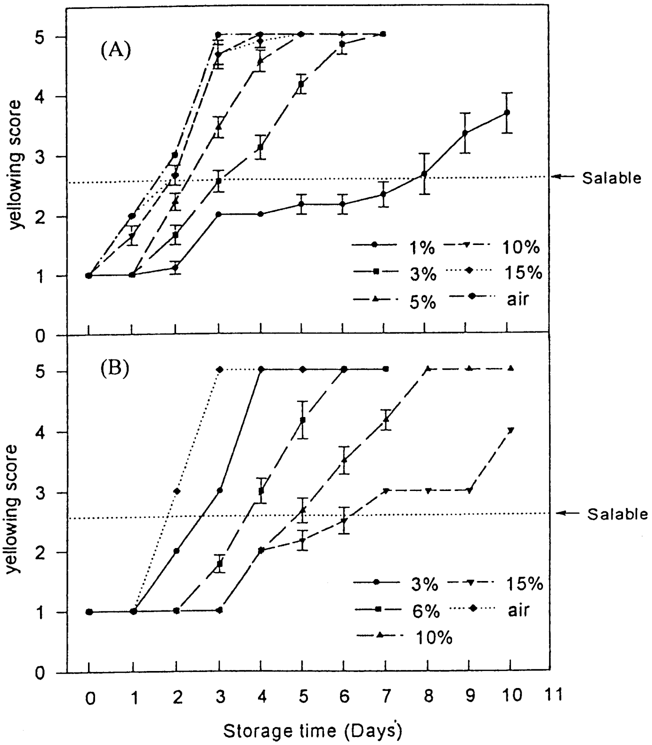

圖.5. 青花菜在不同濃度氧氣(A)及不同濃度二氧化碳(B)中貯藏時之小花蕾黃化變化。貯藏溫度爲20℃，黃化等級說明如圖 2。圖中各值爲三重複之平均±標準偏差。

Fig. 5. Changes of yellowing scores of broccoli during storage at 20℃ under different concentrations of oxygen(A) and carbon dioxide(B). Yellowing score is the same as stated in Fig.2, Each data represents mean ± S.E. of three replicates.

二、包裝用塑膠薄膜之透氣性

由市面上購得的四種包裝用塑膠薄膜，分別是:0.03mm LDPE、0.02mm HDPE、0.04mm PP及0.03mm OPP。依照Taylor等人[13]所敘述之濃度增加測定法(Concentration-increase method)在不同的溫度中分別做對氧氣及對二氧化碳的透氣性測定，其結果整理如表一。四種薄膜對氧氣的透氣性比對二氧化碳的透氣性為低，對二氧化碳的透氣性大約都是對氧氣透氣性的3-4倍。薄膜的透氣性隨溫度之增加而增加，但是並非直線關係，溫度愈高增加程度愈大。溫度對二氧化碳的透氣率的影響較大而對氧氣的透氣率影響較小。四種薄膜中OPP的透氣性明顯地最小，PP次之，LDPE與HDPE相近但以後者略高一些。

表1 四種常用之塑膠薄膜對氧氣與二氧化碳之透氣性

Table 1 Oxygen and carbon dioxide permeability of four kinds of plastic film

材 料	透氣性(cc-mil/day-m^2-atm)				
	O_2				
	1℃	5℃	10℃	14℃	20℃
LDPE(0.03㎜=1.18mil)	1713(±87)	2245(±135)	2997(±85)	3553(±115)	5354(±209)
HDPE(0.02mm=0.787mil)	2001(±91)	2462(±73)	3082(±101)	4043(±161)	5754(±239)
PP (0.04mm=1.57mil)	874(±32)	1010(±19)	1470(±49)	2023(± 65)	2932(± 95)
OPP (0.03mm=1.18mil)	465(± 20)	495(±32)	666(±18)	828(± 20)	1233(± 41)
材 料	CO_2				
	1℃	5℃	10℃	14℃	20℃
LDPE(0.03㎜=1.18mil)	8401(±330)	10919(±528)	13021(±550)	16106(±617)	21732(±742)
HDPE(0.02mm=0.787mil)	10198(±228)	11636(±276)	13812(±453)	16226(±578)	21334(±767)
PP (0.04mm=1.57mil)	3466(± 78)	4505(±123)	5605(±125)	6964(±169)	9368(±195)
OPP (0.03mm=1.18mil)	1587(± 26)	1959(± 36)	2433(± 44)	2932(± 47)	4236(± 91)

三、青花菜氣變包裝貯藏試驗

由於低氧及高二氧化碳具有減緩青花菜老化的效果，因此提供了進行氣變包裝之生理基礎，在氧氣與二氧化碳的組合方面，經由初步試驗得到 1% O_2 + 6% CO_2 的氣調環境的效果甚佳，不論呼吸速率、乙烯生成速率及黃化變化均受到明顯抑制，而且比單獨使用低氧或高二氧化碳時更為有效[3](數據未列)，因此初步以此組合進行青花菜氣變包裝貯藏試驗。試驗是在20℃中進行，以0.03mm LDPE的塑膠膜製成約78㎝x58㎝大小的包裝袋，經由估算袋內裝入700- 800g之青花菜最適合。氣變包裝的方式分成主動氣變與被動氣變二種，被動氣變是直接密封包裝，不改變袋內之氣體組成，要藉由產品本身呼吸作用之進行，漸漸降低袋內氧氣濃度並提高二氧化碳濃度，直到到達平衡為止。主動氣變是在密封時就以外加的方式立即改變袋內氣體的組成，可加速達到平衡之時間。在本試驗中採用二種主動氣變的方法，一種

是抽去袋內部份氣體再充入1%O_2＋6%CO_2 的混合氣體；另一種是抽去袋內部份氣體後再充入氮氣，二者均可直接降低袋內之氧氣濃度[10]。

㈠三種氣變包裝袋內氣體組成之變化

青花菜以三種不同氣變包裝方式貯藏在20℃中，每12小時測定袋內之氣體組成，結果如圖6。

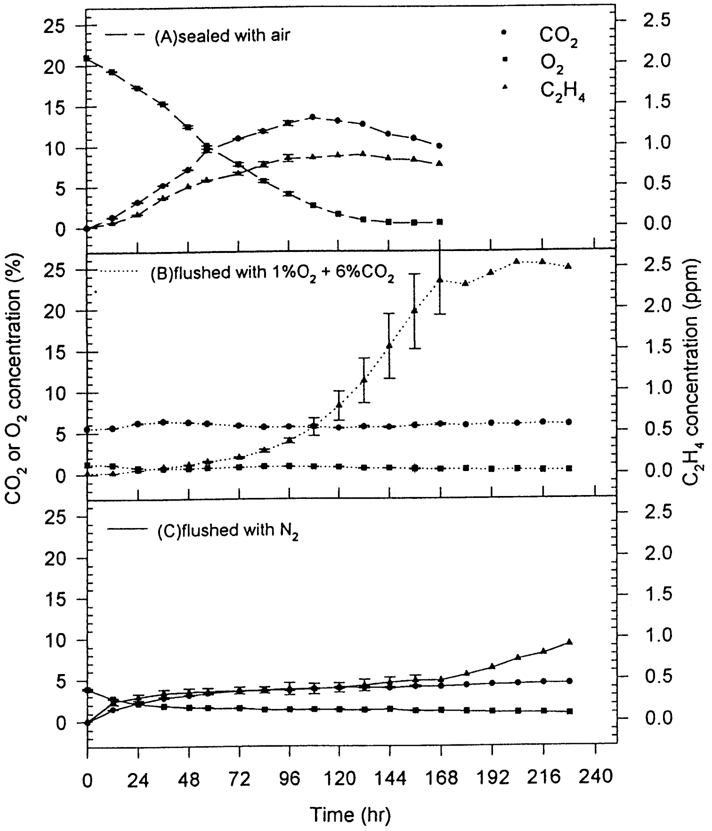

圖.6. 青花菜以不同方式進行氣變包裝貯藏過程中袋內大氣組成之變化。(A)空氣密封包裝(B)充入1%O_2+6%CO_2 後密封包裝(C)充入氮氣並密封包裝，圖中各值爲三重複之平均±標準偏差。

Fig.6. Changes of gas compositions in sealed bags of broccoli during modified atmosphere storage at 20℃. (A)bags sealed with air, (B)bags sealed after flush with 1%O_2+6%CO_2, (C)bags sealed after flushed with nitrogen. Yellowing score is the same as stated in Fig.2, Each data represents mean ± S.E. of three replicates.

1.空氣密封包裝

空氣密封包裝是將一定量之青花菜放入包裝袋內後立即密封，袋內的氣體爲空氣，並未對袋內之氣體組成加以改變。由圖中可看到袋內氧氣慢慢降低而二氧化碳慢慢升高，約在第6天才達到平衡，其氧氣濃度約只有0.35%，而二氧化碳的累積量則高達10%以上，而乙烯之濃度在密封後就慢慢增加，達到 0.8~0.9 ppm（圖6A）。

2.充入 1% O_2 + 6% CO_2 混合氣體密封包裝

將青花菜放入袋內後，先將袋口部份封好，再將袋內空氣抽至最低後立即充入1% O_2 + 6% CO_2 混合氣體，再行密封包裝。由圖中可看到此一處理者袋內氣體組成立即達到平衡點附近，之後維持在此一比例，由實際觀測的結果，包裝袋內平衡後的氧氣濃度約爲 0.4~0.8%，二氧化碳濃度約爲 5.5~5.8%。但是袋內的乙烯濃度在3天後急劇累積到第7天時已高達2.5 ppm（圖6B）。

3.充入氮氣密封包裝

將青花菜放入袋內後，先將袋口部份封好，再將袋內空氣抽至最低後立即充入純氮氣，再行密封包裝。由圖中可看到此一處理者袋內氣體組成在開始時爲4%O_2 及0% CO_2，之後氧氣漸降而二氧化碳漸升，約在三天後達到平衡，由實際觀測的結果，袋內平衡後的氧氣濃度約爲1.0~1.3%，二氧化碳濃度約爲4.5%，而包裝袋內的乙烯濃度增加緩慢在第7天起才有較明顯之增加到達0.9 ppm左右（圖6C）。

(二)三種氣變包裝方式對青花菜黃化之影響

青花菜以三種不同氣變包裝方式貯藏在20℃中的黃化變化如圖 7，對照組是放在空氣中不密封，在第2天開始轉黃到第5天全黃，以空氣密封包裝貯藏者，黃化速率與對照組相同，只是時間上延後一天，延遲老化的效果不明顯。充入 1% O_2 + 6% CO_2 混合氣體密封包裝及充氮氣密封包裝都有明顯地延遲黃化的效果，前者效果最佳，到第10天仍未轉黃，後者之效果亦相當顯著，可貯藏7 天左右(圖7)。

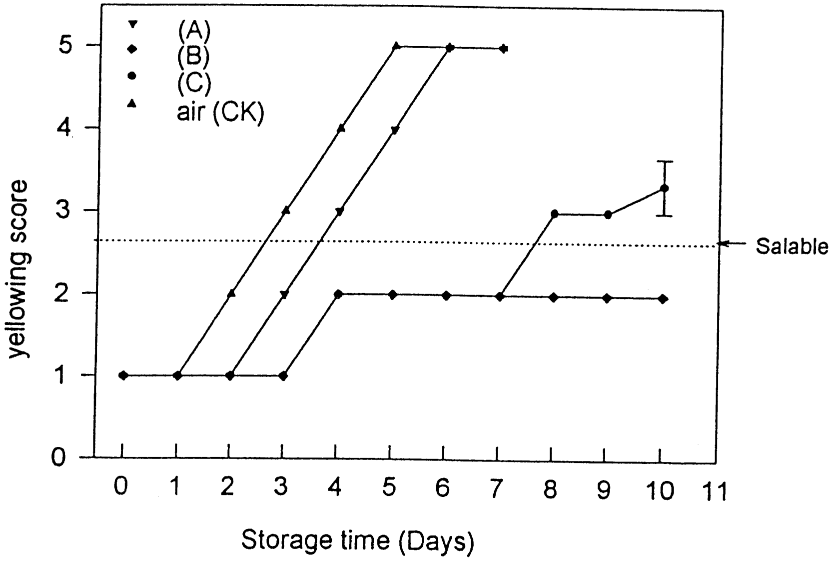

圖.7 青花菜以不同方式進行氣變包裝貯藏過程中之黃化變化。(A)空氣密封包裝 (B)充入1%O_2+6%CO_2 後密封包裝(C)充入氮氣並密封包裝，黃化等級說明如圖 2，圖中各值爲三重複之平均±標準偏差。

Fig.7 Changes of yellowing scores of broccoli during modified atmosphere storage at 20℃. (A)bags sealed with air, (B)bags sealed after flush with 1% O_2+6% CO_2, (C)bags sealed agter flush with nitrogen. Yellowing score is the same as stated in Fig.2, Each data represents mean ± S.E. of three replicates.

討　論

本試驗之目的是以一種循序漸進的方式建立一套發展氣變包裝技術的模式，藉以明瞭在各階段可能遭遇的各種問題以及此一方法的最終可行性[6]。青花菜是一種營養價值甚高的蔬菜，但是它在採後運銷過程中品質的劣變很快，影響其營養價值與貨架壽命[11,12]。本試驗是以青花菜為模式作物，經由試驗建立其氣變包裝所需之基本條件，並依此結果進行初步之氣變包裝貯藏試驗，藉此過程吸取研發之經驗，進而評估其應用於本地之易敗壞性蔬果產品保鮮之可行性。

欲進行氣變包裝首先需要知道溫度、氧氣濃度、二氧化碳濃度對於其生理作用與老化之影響[6]。由試驗的結果可知，青花菜的採後生理與老化受到溫度的影響很大(圖1,2)。在20℃中不但有很高的呼吸速率及乙烯生成速率，同時也會快速轉黃；上述的變化在降溫到5℃以下時就能夠顯著降低及減緩。除了低溫之外，降低氧氣濃度及提高二氧化碳濃度也對青花菜的老化生理有抑制效果(圖3,4,5)，在20℃中降低氧氣濃度至1%以下即可發揮抑制呼吸作用及抑制黃化的效果，使其壽命由原來的2天延長為7天。提高二氧化碳濃度至6%以上，也有抑制呼吸作用，乙烯生成及花蕾黃化的效果，在20℃提高空氣中二氧化碳濃度至6%可使其壽命由2天延長至4天，若為15%則可延至6天。若以1% O_2 + 6% CO_2 的組合，其效果更佳，在20℃中10天後仍為淡綠色。由此結果可知氣調貯藏技術若能應用在青花菜的貯運上是會有很大助益的。

氣變包裝的另一項重要材料是包裝用的塑膠薄膜，由於塑膠薄膜的材質與製造方法不同，因此具有不同的透氣性。雖然在文獻中可以查到常用塑膠薄膜的透氣性資料，但是不同地方不同研究者所發表之數據差異很大，而且通常只是單一溫度下的測定之數據，並不適於應用在其他的溫度下[2,10]。因此在進行氣變包裝試驗之前需要先對本地製造之塑膠薄膜測定其對氧氣與二氧化碳在不同溫度下之透氣性。本試驗依據透氣之原理並參考國外之文獻[13]，試驗過多種的方式，最後建立一套適於本研究室使用之測定方法(參見方法三)。依上述方法測定了市面上常見的四種塑膠薄膜-LEPE, HDPE, PP, OPP在1-20℃之間對氧氣及二氧化碳的透氣性，其結果如表1。由於氣變包裝的產品都是會呼吸的產品，因此當包裝材料的透氣性太低時，並不適合氣變包裝之用，特別是產品的呼吸速率很高時，過低的透氣性常造成低氧及高二氧化碳的傷害[7]。

青花菜使用不同氣變包裝方式處理經過一段時間貯藏後，包裝袋內的氣體濃度會達一平穩的狀態。以空氣密封包裝處理者，在20℃中包裝袋內的氣體約需要5-6天才會達到平衡狀態（圖6），但是青花菜為極易敗壞的產品，當包裝袋內氣體濃度未達到平衡之濃度時，袋內的青花菜早已黃化劣變，即使增加包裝袋內的青花菜重量以增加呼吸速率來消耗袋內氧氣，亦無法在短時間內將氧氣濃度降下，反而會使袋內的二氧化碳濃度累積過高(約16%)，以及平衡後的袋內氧氣濃度過低(約0.3%)，造成低氧及高二氧化碳傷害。因此就本試驗而言，以LDPE包裝袋做空氣密封包裝處理並不適合易敗壞及高呼吸率的青花菜使用。

以充入混合氣體的包裝方式可迅速達到氣變的效果，對延遲產品劣變及貯藏壽命比空氣密封包裝的效果好[10]。青花菜在20℃以充入1% O_2 + 6% CO_2 密封包裝方式貯藏，密封後貯藏期間的氧氣與二氧化碳濃度一直維持在一穩定的狀態，氧氣濃度大約為0.4-0.8%，二氧化

碳濃度約為5.5-5.8%(圖6)，小花蕾也能維持淡綠色達10天之久，顯示出氣變的效果(圖7)。但是包裝袋內的乙烯累積量卻相當高，會加速青花菜的老化速度，因此需要加以吸除；此外青花菜在20 ℃高濕度的環境下貯藏，通常在貯藏至第6-7天時花蕾即有發霉現象，此為微生物感染的問題，在本次之試驗設計中並未加以考慮，應在下一階段試驗中加以改進之要點之一。

青花菜在20℃以充氮密封包裝貯藏，密封時袋內氧氣濃度約為4%，密封後包裝袋內的氣體約在2-3天後達平衡狀態，此時的氧氣濃度約為1.0-1.3%，二氧化碳濃度約為4.5%(圖6)，接近預期的濃度，而且也有明顯的氣變效果(圖7)。由於純氮氣的取得遠較特定濃度氣體的取得更為方便、廉價，因此由成本的考量來看，以充氮密封包裝的處理方式在實際應用上的可行性會比充混合氣體密封包裝的方法為高。

本試驗是針對如何將氣調技術應用在蔬菜保鮮上所進行的一系列有系統的試驗，主要的目的是在探討以氣變包裝的方式來做為其手段的可行性。試驗本身所得到的結果顯示氣變包裝對於易敗壞蔬果如青花菜是具有保鮮的效果，而且在實行的方法上是可以加以研擬與開發的。由本試驗的過程與結果可以提出以下幾點經驗做為進一步研究此一技術時之參考：

第一、作物的選擇：適於使用氣變包裝的產品首先應是能夠耐低氧及高二氧化碳而不會受到傷害者；其次，與在空氣中相比，該產品在此氣調環境中應有較明顯之保鮮效果。

第二、氣調條件的建立：欲發展一種產品的氣變包裝技術，首先需在有適當設備之實驗室內完成基本條件的測定試驗，以對該產品的生理反應有所瞭解。

第三、包裝用塑膠薄膜的選擇：用於氣變包裝用的塑膠薄膜應具有較高之透氧性，目前市面上常見之LDPE之透氧性仍然偏低，因此需要發展或找出具更高透氧性的塑膠薄膜。

第四、電腦模擬：在相關數據都已建立的情況下，理論上，氣變包裝可以用相關的電腦程式來模擬貯藏過程中袋內氣體組成的改變，並預測可能之貯藏壽命，若能發展出相關的應用程式，將有助於此一技術之應用。

第五、實際應用時所需面對之問題：在將試驗的結果應用到實際層面時還有許多需要考量的地方，包括作業流程的設計，相關設施的建立，運銷系統的配合，生產者或包裝者的訓練等等，都是需要事先考慮的問題。

本文以青花菜為例，就氣變包裝技術的研發過程提出簡要的說明，並指出其可能遭遇到的一些問題，供採後處理相關人員之參考。

誌　　謝

本試驗承農委會:78-農建-7.1-糧-30(1)，80農建-7.1-糧-61(10)，84科技-2.2-糧-53(14)等計畫補助經費，謹此致謝。

參考文獻

1.王自存. 1990. 改變大氣組成對蔬菜保鮮效果之研究. 79年度園產品採收處理技術改進研究計畫工作成果報告. 台灣省政府農林廳特產科編印. p.97-106.

2.王自存、張粲如. 1991. 氣調技術應用在蔬菜採後保鮮之研究. 園產品採收處理技術改進研

究計畫. 八十年度工作成果報告. 農林廳特產科 p. 117-125.

3.王自存. 1995. 氣變及真空貯藏包裝技術在蔬果貯運上之應用. 園產品採收生理之研究與採後技術之改良計畫. 八十四年度工作成果報告. 農林廳特產科. p.14-1 - 14-8.

4.王健一、王自存. 1988. 大氣成分對園產品生理與生化之影響. 中國園藝34: 220-248.

5.林學正. 1974. 控制透氣性包裝袋內大氣成分對新鮮水果蔬菜保鮮技術之研究. 中華農業研究. 23: 38-47.

6. Day, B. F. 1988. Optimization of parameters for modified atmosphere packaging of fresh fruit and vegetables. In: Proceedings of the fourth International Conference on Controlled/Modified atmosphere/Vacuum Packaging. Schotland Business Reserach, Inc. p.147-170.

7. Exama, A., J. Arul, R.W. Lencki, L. Z. Lee, and C. Toupin. 1993. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. J. Food Sci. 58: 1365-1370.

8. Gorris, L. G. M. and H. W. Peppelenbos. 1992. Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. HortTechnology 2: 303-309.

9. Kader, A. A., (Technical Editor). 1992. Postharvest technology of horticultural crops. 2nd ed. Univ. of Calif., Div. of Agric. & Nat. Resources, Publication #3311. 296pp.

10.Kader, A. A., D. Zagory, and E. D. Kerbel. 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 28:1-30.

11.King, G. A., and S.C. Morris. 1994. Physiological changes of broccoli during early postharvest senescence and through the preharvest-postharvest continuum. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:270-275.

12.Lebermann, K. W., A. I. Nelson, and M. P. Steinberg. 1968. Postharvest changes of broccoli stored in modified atmospheres. 1. Respiration of shoots and color of flower heads. Food Technol. 22: 487-490.

13.Taylor, A. A., M. Karel, and B. E. Proctor. 1960. Measurement of O_2 permeability. Modern Packaging 33: 131-140.

Studies on the Application of Controlled Atmosphere(CA) Technology in the Postharvest Handling of Vegetables

Tsu-Tsuen Wang

Associate Professor, Department of Horticulture, National Taiwan University.

Summary

In this study, broccoli was used as the model crop to evaluate whether controlled atmosphere technology, in the form of modified atmosphere packaging(MAP), could be used in the postharvest handling of perishable vegetables in this country. The optimum gas composition for MAP of broccoli was first investigated. Broccoli has very high respiration and ethylene production rate at 20℃ and turned yellow rapidly at this temperature. Lowering temperature to below 5℃ will slow down this process. Reducing oxygen concentration to near 1% and elevating carbon dioxide concentration to above 6% were also effective in inhibiting the senesence process in broccoli. The permeability of LDPE, HDPE, PP and OPP to oxygen and carbon dioxide at temperatures between 1-20 ℃ were measured using Concentration Increase Method. The permeabilities for carbon dioxide are about 3-4 time of that for oxygen in all four film tested and all the permeabilities increase with temperature with a non-linear relationship. OPP is the least permeable film, followed by PP. Both DEPE and HDPE have higher permeability, with HDPE slightly higher. A modified atmosphere packaging experiment was then conducted unsing LDPE bags under 20℃. The effectiveness of passive MA and active MA methods were compared. The gas composition in bags that were sealed directly with air reached equlibrium after 6 days with oxygen concentration below 0.5% and carbon dioxide concentration above 10%, and all the floret had already turned yellow. The gas composition in bags that were either flushed with 1%O_2 + 6%CO_2 or flushed with nitrogen before sealing reached equilibrium within less than three days with oxygen near 1% and carbon dioxide near 5%. And all the floret maintained green for at least 7 days. The result of this study indicated that the freshness of broccoli at 20℃ could be extended by using active MA method, and the application of MAP in postharvest handling of other perishable vegetables should be encouraged.

Key Word: Broccoli, MAP, Gas permeability, Yellowing, Temperautre